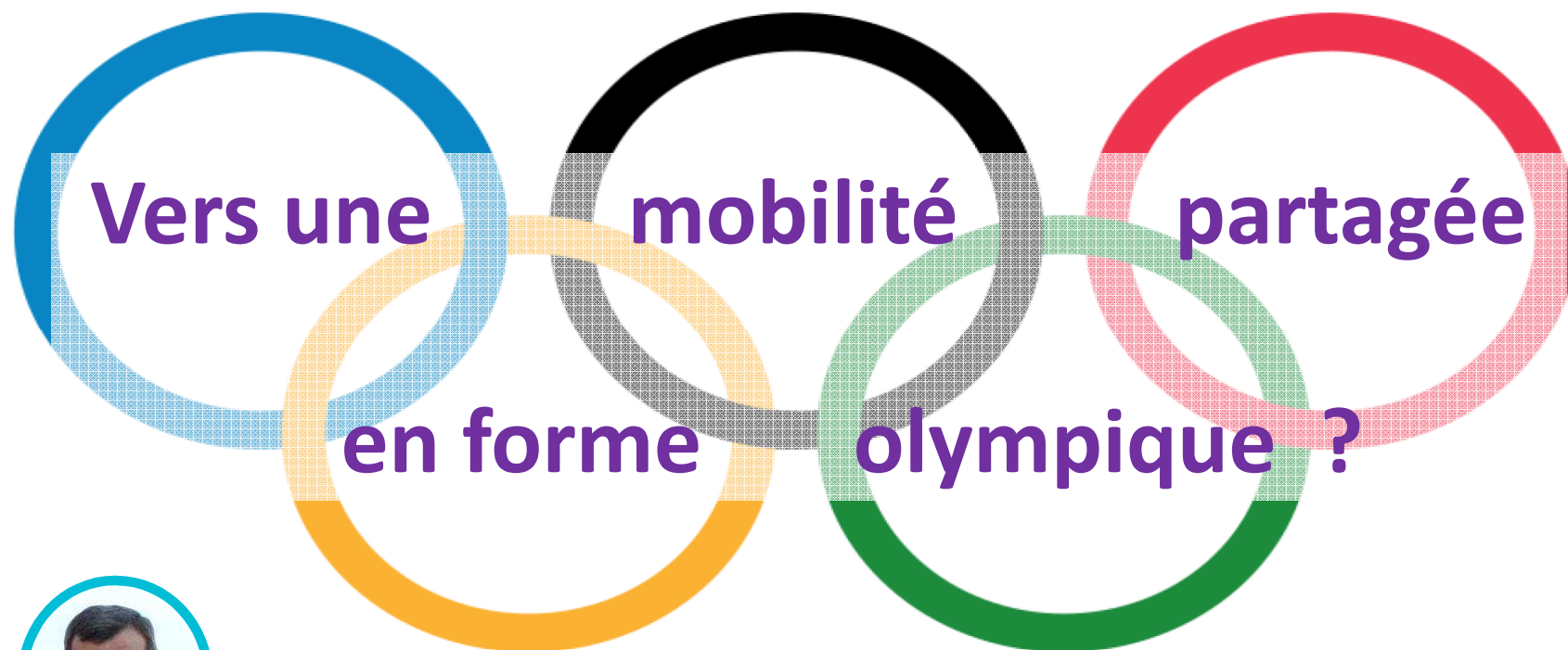


RDMI 2020 : Atelier Mobilité partagée



Fabien LEURENT

L'amplification digitale de la mobilité

Services A LA mobilité

- **Le Parcours client**
 - **Inspire** : SIG Maps = adresses + aménités + conditions d'accès + guidage
 - **Plan** : route planning
 - **Book** : « hailing » sur plateforme, RV géolocalisé adaptable interactivement
 - **Ticket** : paiement fluide
- **Diversification des vecteurs**
 - Véhicules électriques
 - 2 roues en tous genres

Services DE mobilité

- **Renforcement gestionnaire des modes**
 - Au niveau de l'infra : gestion du trafic, contrôle d'accès, tarification
 - Services de transport public
- **Offre de services partagés**
 - Taxis, VTC
 - Services partagés : vasés sur des véhicules à 2 roues et 4 roues
 - Autopartage, covoiturage, services P2P

Formes techniques et formes spatiales

Véhicule

- Contenant
- Mécanique, moyen de « glisse »
- Motorisation

Station

- Hub
- Accès
- Dépôt : centralisé ou décentralisé?

Réseau

- Desserte locale
- Couverture spatiale
- Itinéraires d'acheminement

Ligne

- Trajets de station à station
- Mutualisation de véhicules
- Véhicules de grande capacité
=> massification

But et contenu

Objectifs

- Forme d'anneau pour un service partagé : reconnaître des atouts
- Identifier les facteurs et conditions d'attractivité & de rentabilisation
- Modélisation technico-économique : **trafic, qualité de service, clientèle**
- Application prospective : **Technologies et Régimes de régulation**

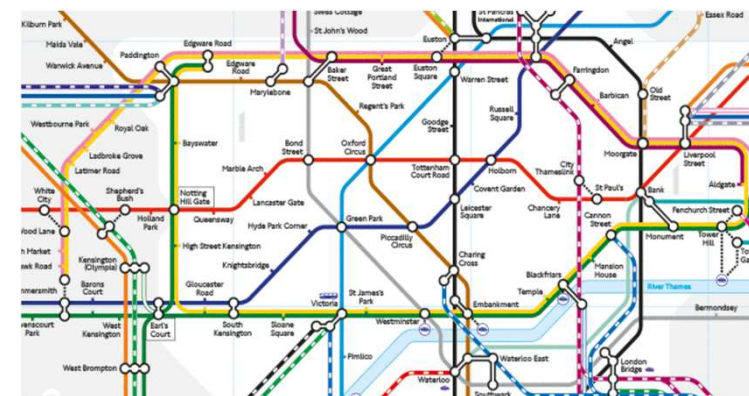
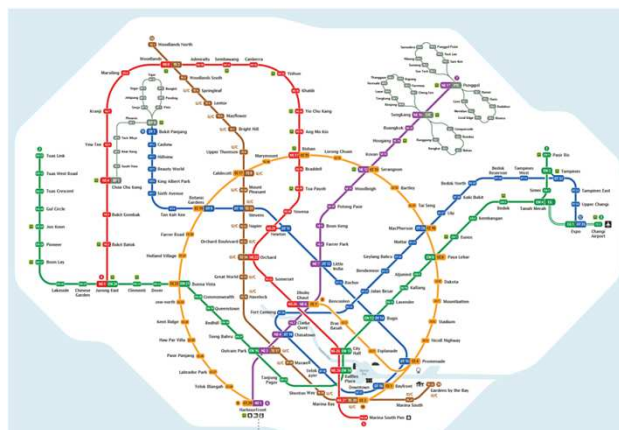
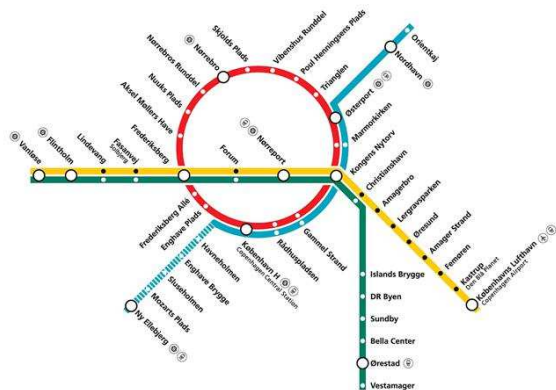
Plan

- 1/ La forme d'anneau
 - Principes
- 2/ Potentiel géographique
- 3/ Aperçu du modèle
- 4/ Simulation de scénarios
 - Aperçu de résultats
- 5/ Conclusion

Instances de la forme d'anneau

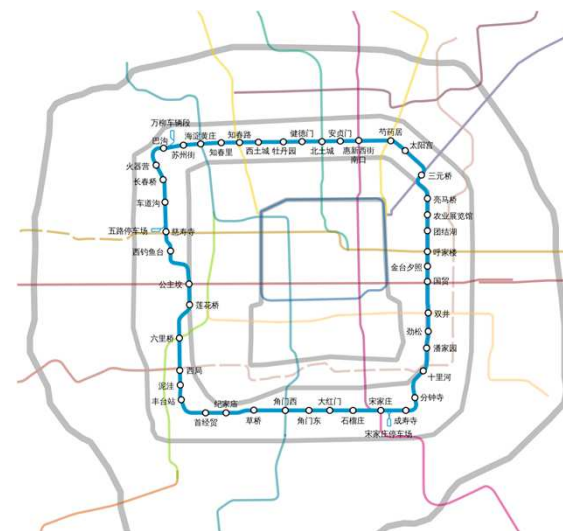
- En transport collectif : courroie de distribution

- Copenhague, Londres, Madrid, Pékin, Singapour...



- Réseau de voirie

- Rocades routières, « Bd périphériques »



Principes d'un service en forme d'anneau

Courroie de transmission

- Et de distribution

Noria

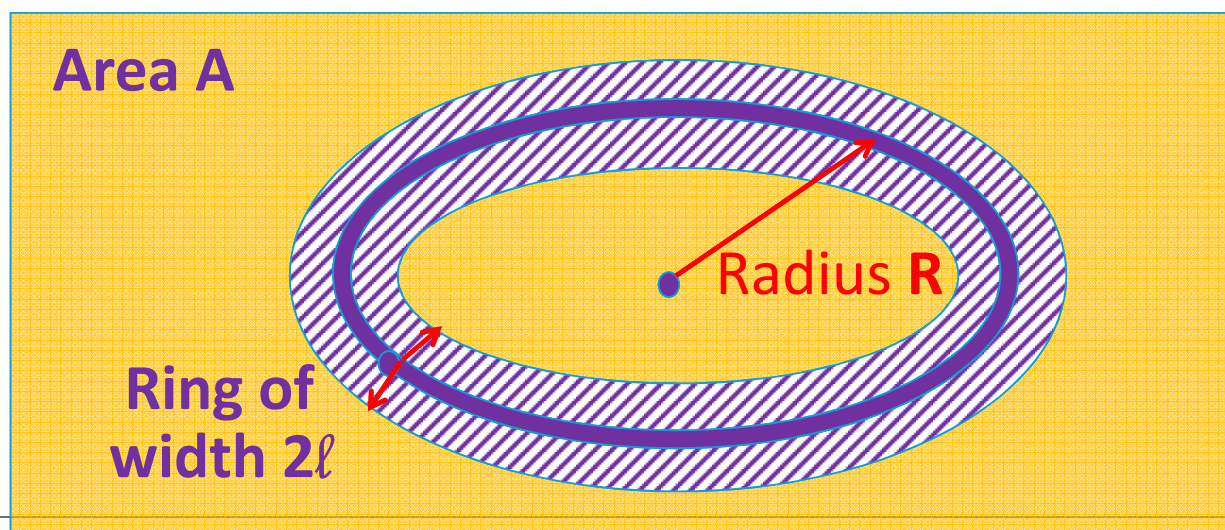
- Fréquence de desserte
- Répartition de la charge

Circuit

- Cycle des véhicules
- Le circuit couvre largement l'espace

Canalisation

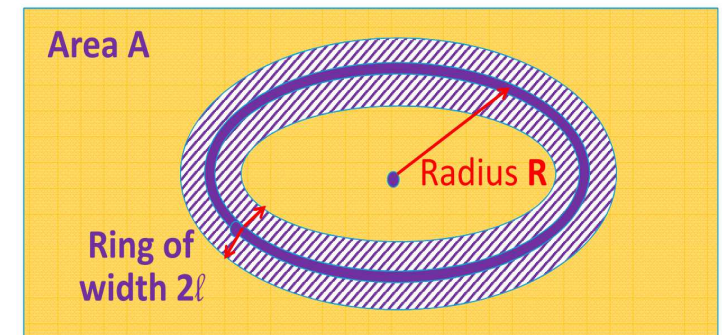
- Protège le contenu ET l'extérieur



Adhérence territoriale

- Une puissance de drainage

- Si le client peut marcher jusqu'à ℓ de chaque côté du trajet
- Alors l'anneau dessert une aire de $4 \pi R \ell$
- Part des origines: $4 \pi R \ell / A$, idem pour destinations
- Part des déplacements : $(4 \pi R \ell / A)^2$



- Potentiel local

- Aire A, population P, motilité μ (nb trajets/jour par individu)
- Indicateur de volume : Nb de trajets x Part desservie

$$\tilde{Q} = P \cdot \mu \cdot \left(\frac{4\pi\ell R}{A} \right)^2$$

- Recombinaison des termes

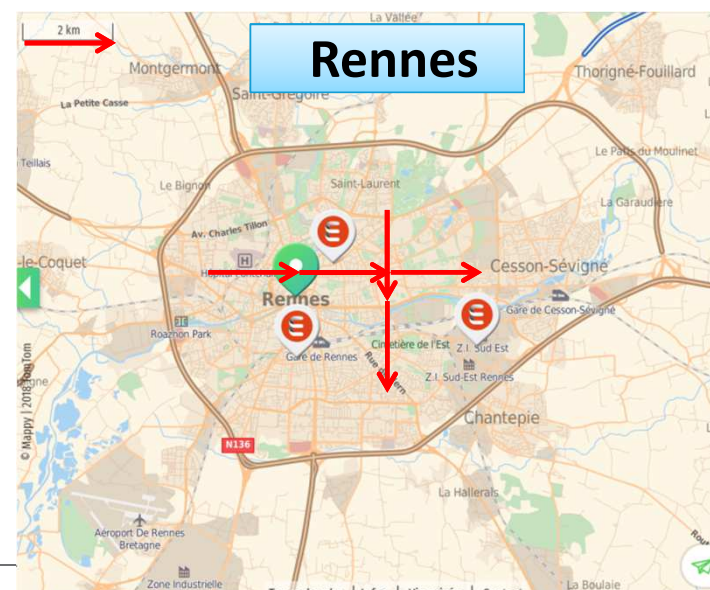
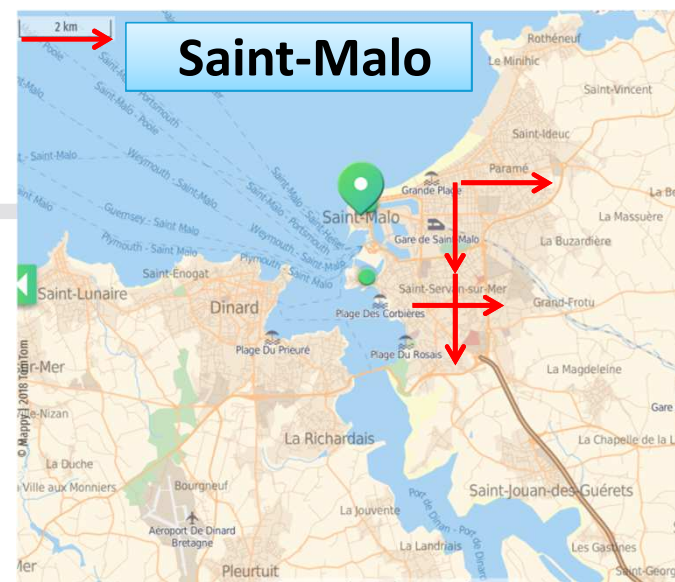
- Rayon d'agglomération R_A tel que $A = \pi R_A^2$
- Quantité
= Densité x Largeur² x (Rapport des rayons)²

$$\tilde{Q} = \left(\frac{P \cdot \mu}{A} \right) \frac{(4\pi\ell R)^2}{\pi \cdot R_A^2} = \left(\frac{P \cdot \mu}{A} \right) \cdot 4\pi \cdot (2\ell)^2 \underbrace{\left(\frac{R}{R_A} \right)^2}$$

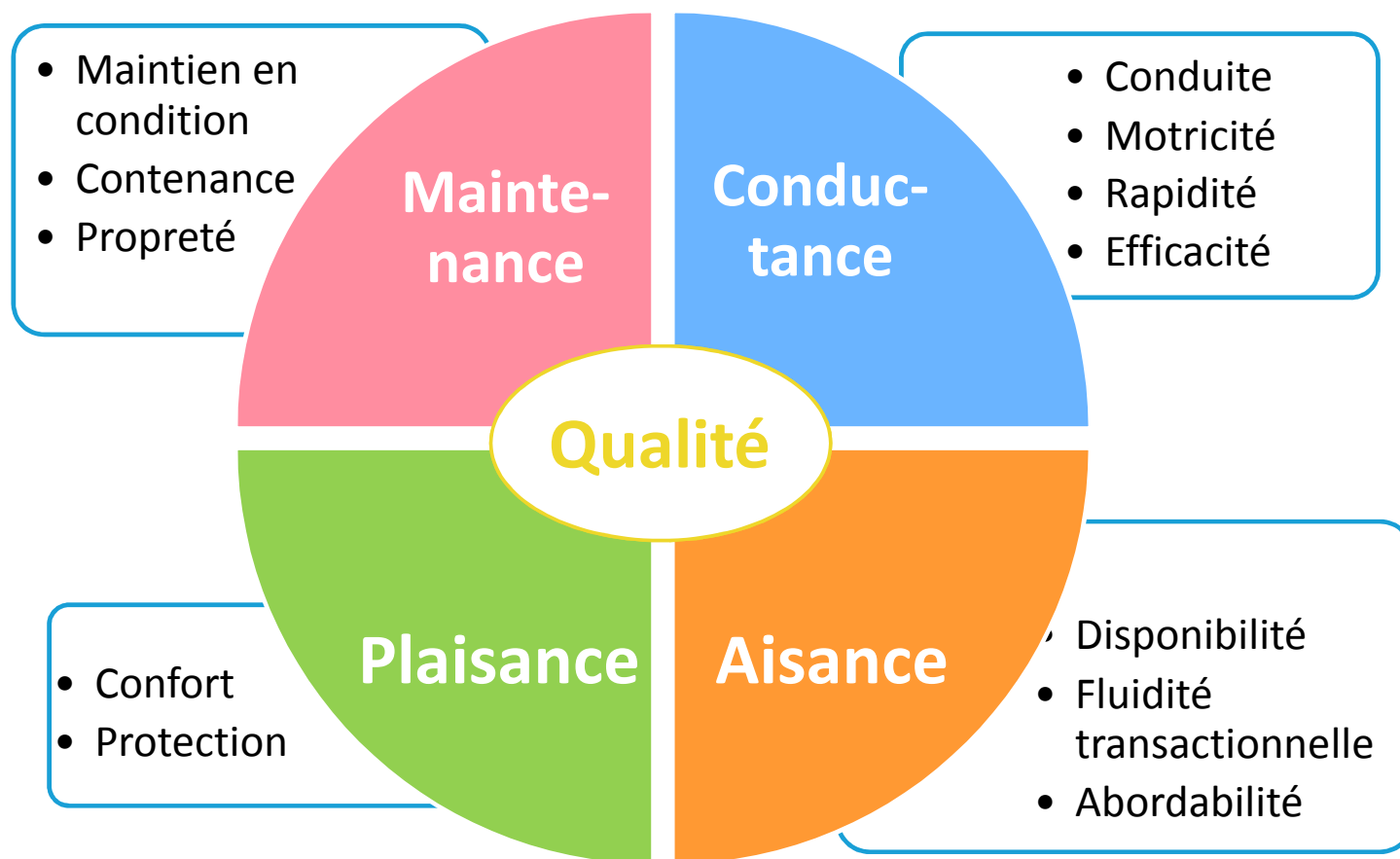
Cas de villes

Caractères	St Malo	Rennes / Saclay	Grand Paris	Ville Paris
A (km ²)	80	200	2 000	100
R _A (km)	5	8	25	6
P (k hab)	50	300	11 000	2 000
P/A (k hab/km ²)	0,6	1,5	5,5	20,0
Ratio 3/R _A	59%	38%	12%	53%
Ratio 4.ℓ.π.R/R _A ²	74%	30%	3%	59%
Qtilde (k trajets/jr)	38,9	37,3	13,7	995
Variante R = 5 km	107,9	103,6	38,0	2 763

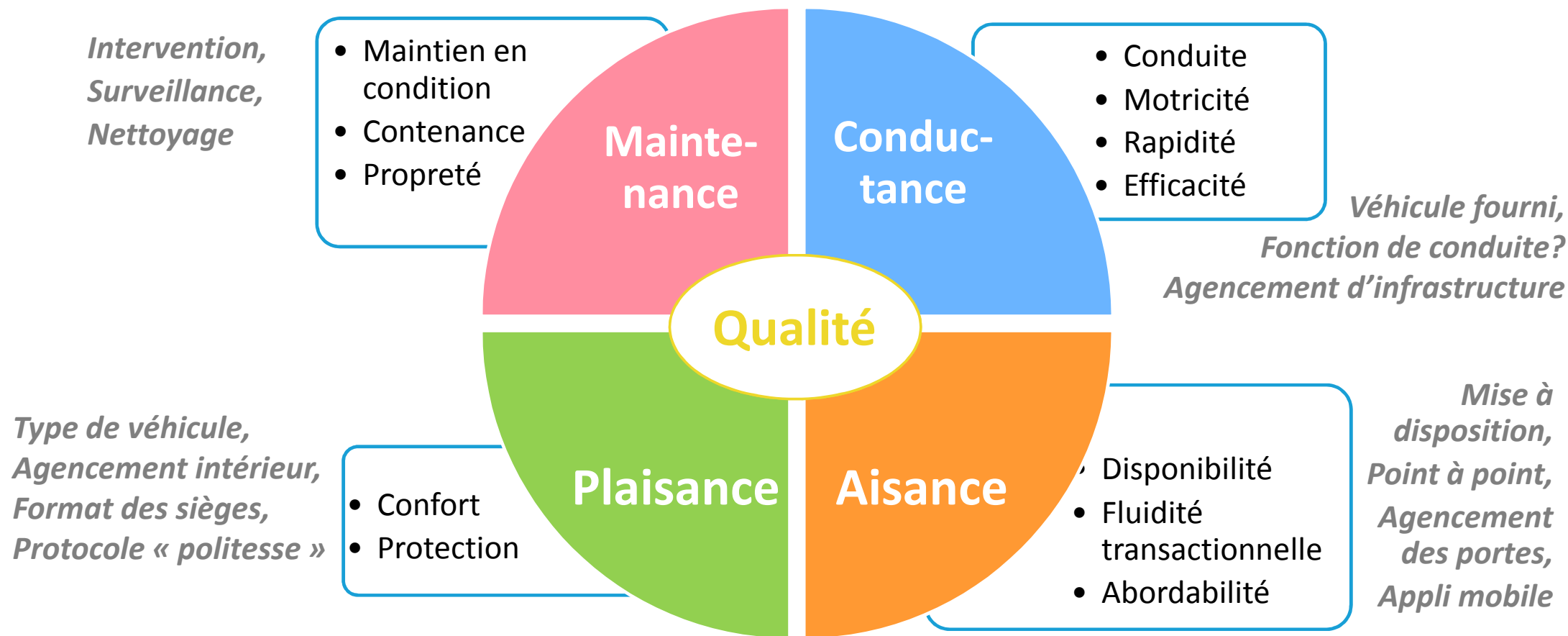
$$\tilde{Q} = \left(\frac{P \cdot \mu}{A}\right) \cdot 4\pi \cdot (2\ell)^2 \left(\frac{R}{R_A}\right)^2$$



Qualité de service : attendus



Qualité de service : atouts de l'anneau



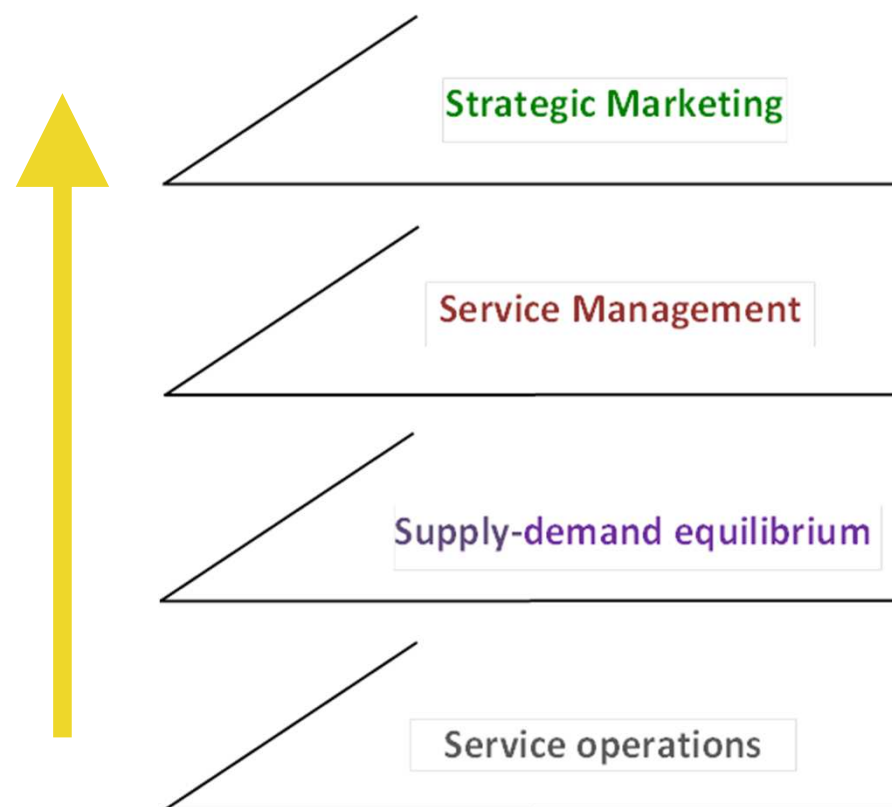
C/ Modélisation technico-économique

- Famille Orbicity de modèles

- Modèle « Taxi »
- Modèle « Navettes »
- Modèle « Véhicules partagés »

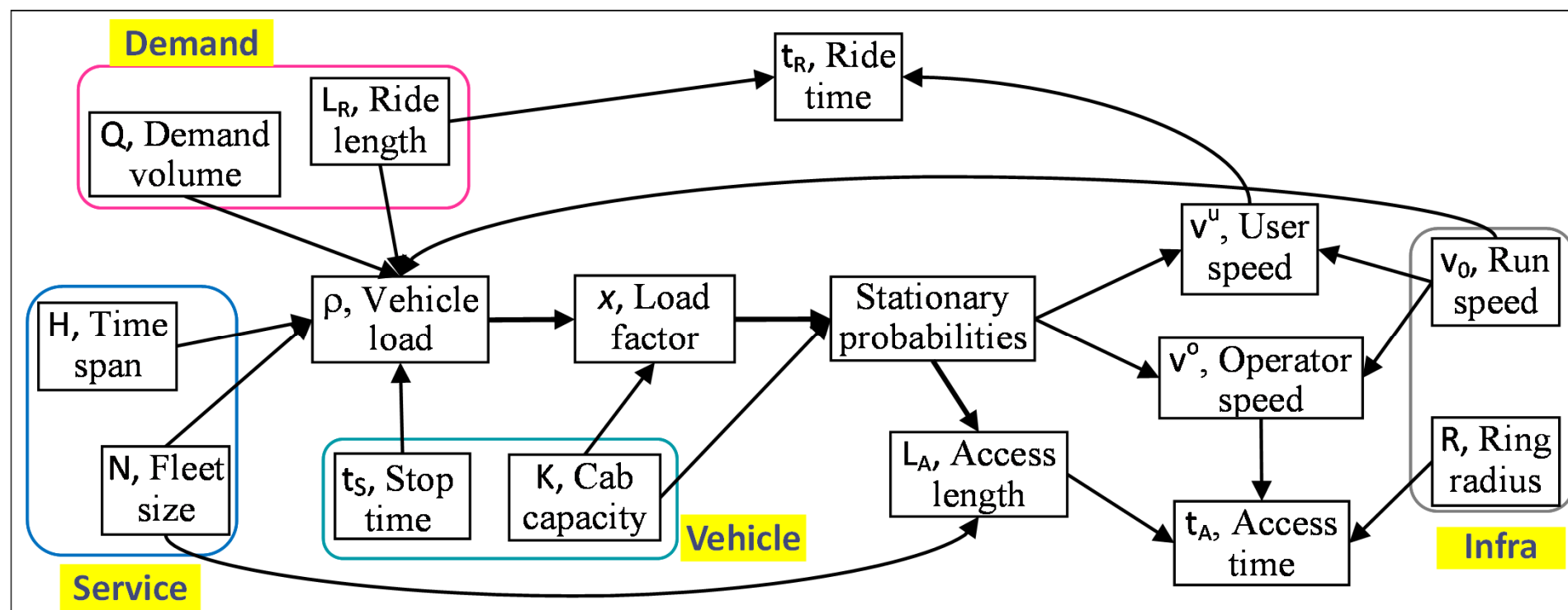
- Architecture générique à 4 étages

1. Fonctionnement du trafic
2. Equilibre offre-demande
3. Management de l'offre
4. Positionnement stratégique



Modèle de trafic

- Un enchaînement de causalités



Lois physiques du trafic

- Temps d'accès

- **Définition :** $t_A = L_A / v^0$
Car, ex-ante, le client est à l'extérieur

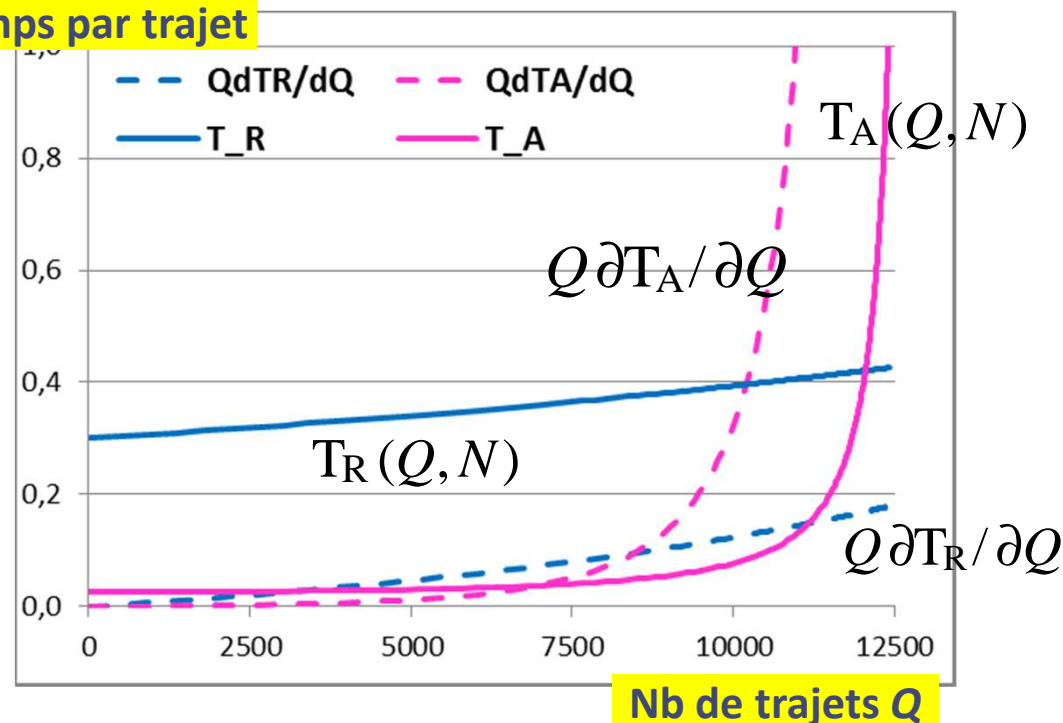
- **Formule :** $t_A = \frac{L_A}{v^u} = \frac{4\pi R}{N P_A v^u} = \frac{4\pi R}{N v_0 P'_A}$

- Temps de roulage (à bord)

- **Définition :** $t_R \equiv L_R / v^u$
car tous les passagers sont à bord

- **Formule :** $t_R = \frac{L_R}{v_0} + \frac{t_S}{t_0} \Psi_{K-1}(x)$

Temps par trajet



Le temps de service est à 2 composantes :

+ Temps de roulage T_R : externalité de congestion $Q.dT_R/dQ$

+ Temps d'accès T_A : externalité de congestion $Q.dT_A/dQ$

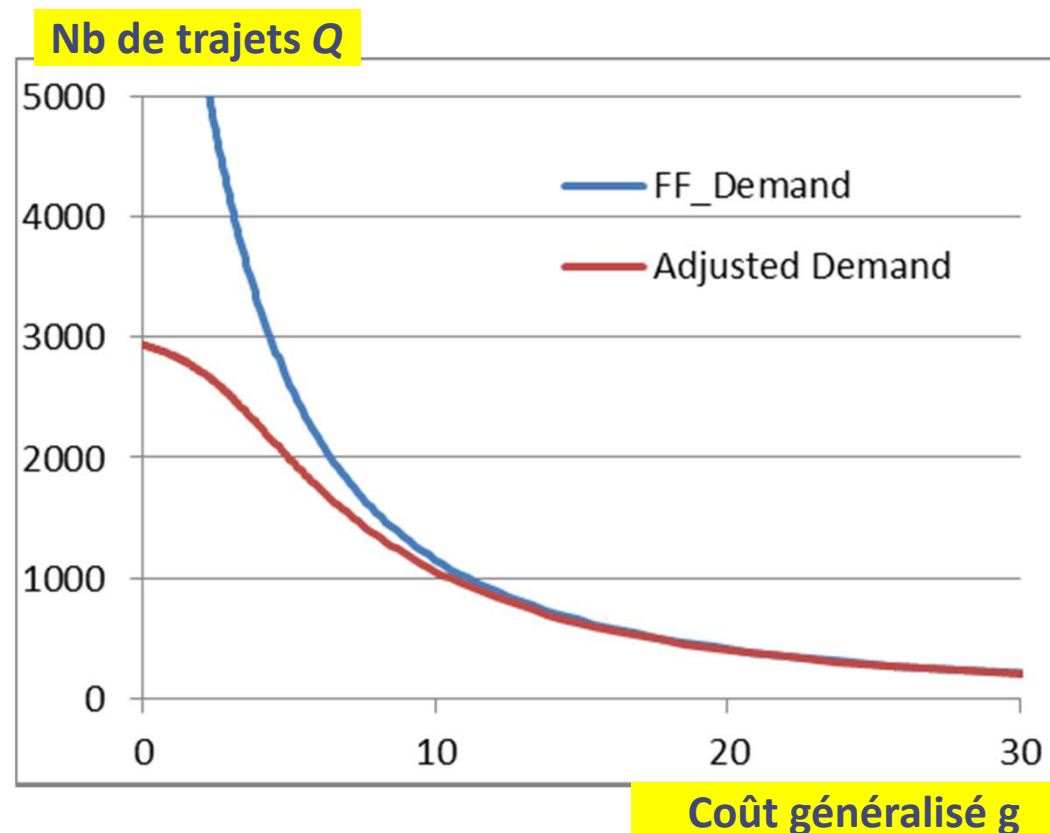
La demande et l'équilibre offre-demande

- Modèle de demande

- Le volume de demande dépend du tarif, du temps de roulage & du temps d'accès
- Fonction de demande (élastique) :
cf. courbe bleue sur la figure
- Coût généralisé $g =$
Tarif τ + Temps \times VdT spécifique

- Fonction de demande "ajustée"

- En intégrant l'adaptation des conditions de trafic au volume de demande
- *Cf. Courbe rouge sur la figure*



Moyens et coûts de production

■ Fonction de production

- Moyens de production => CAPEX
- Niveau d'utilisation selon la demande => OPEX



- Qualité de service t_A, t_R .
- Fonction de coût $C(N, Q)$

■ Fonction de demande : $Q = D(t_A, t_R, t)$ selon le marché ciblé

■ Fonction de profit : $P^0 = t.Q - C(N, Q)$

Modèle d'affaire

■ Fonction objectif, selon le mode de régulation :

$P = P^0$ si Monopole, ou $P = P^0 + P^u$ pour « l'optimum collectif »,
 P^u étant la fonction de surplus de la demande

Comportement du producteur : gérer au mieux le service

■ Variables de décision (leviers d'action) : le tarif τ et la taille de flotte N .

■ Problème d'optimisation : Max P en fonction de τ et N , (le cas échéant, sous contrainte que $P^0 \geq 0$)

Régime de régulation & Règle de Tarification

Pattern	Objective function & Side constraint	3 rd type condition	
MO Monopoly	$P^o(\tau, N) \equiv$ $\tau \cdot Q(\tau, N) - C(N, Q(\tau, N))$	$\tau = \frac{\varepsilon}{\varepsilon + 1} (\dot{C}_Q + Q \dot{g}_Q)$ if $\varepsilon < -1$	$\tau = \hat{\tau}_{MO}^o$
SO System Optimum	$P^{ou} \equiv P^o + P^u$	$\tau = \dot{C}_Q + Q \dot{g}_Q$	$\tau = \hat{\tau}_{SO}^o$
S1 = SO under min benefit per €, b	P^{ou} under $P^u/(1+b) + P^o \geq 0$	$\tau \geq \frac{C}{Q} - \frac{g_T + C/Q}{1 - (1+\varepsilon)(1+b)}$	$\tau = \hat{\tau}_{S1}^o$
S2 = SO under budget constraint	P^{ou} under $P^o \geq 0$	$\tau \geq C(N, Q)/Q$	$\tau = \hat{\tau}_{S2}^o$

État d'équilibre du système

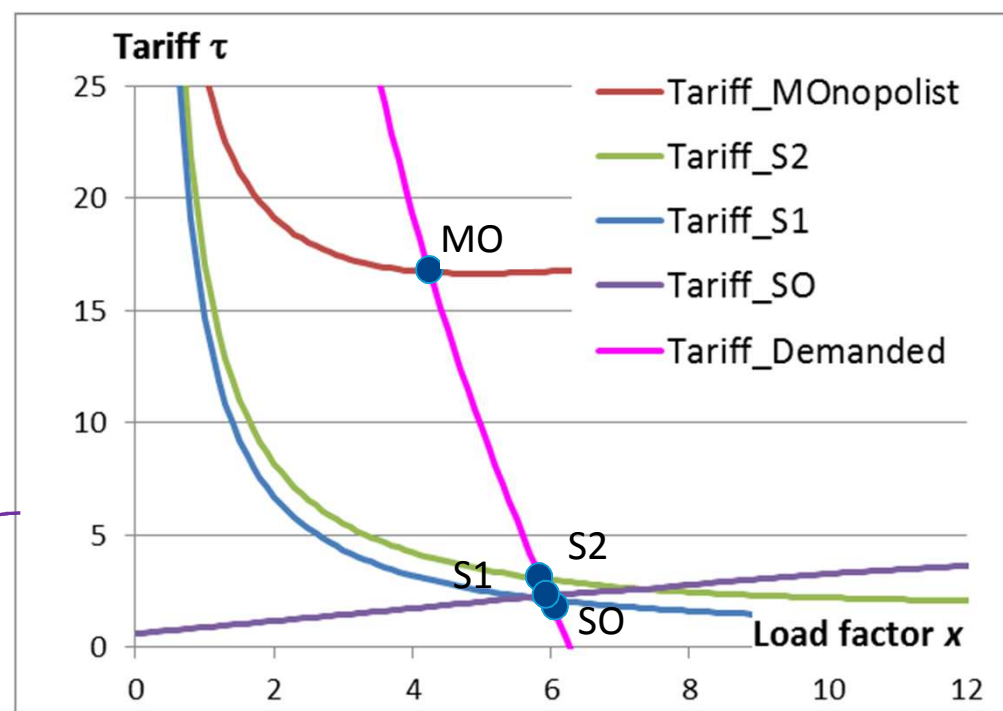
- Par régime de régulation

- A partir des conditions d'optimalité, on tire deux fonctions du Tarif selon x , l'une liée à l'offre, l'autre liée à la demande
- Axe des abscisses : facteur de charge x

- Commentaires

- *Les différents régimes sont représentés sur la même figure*
- Grande importance du régime fixé ! Les différences sont fortes entre MO & SO, plus réduites entre SO et S2

- Solution d'un problème de point fixe

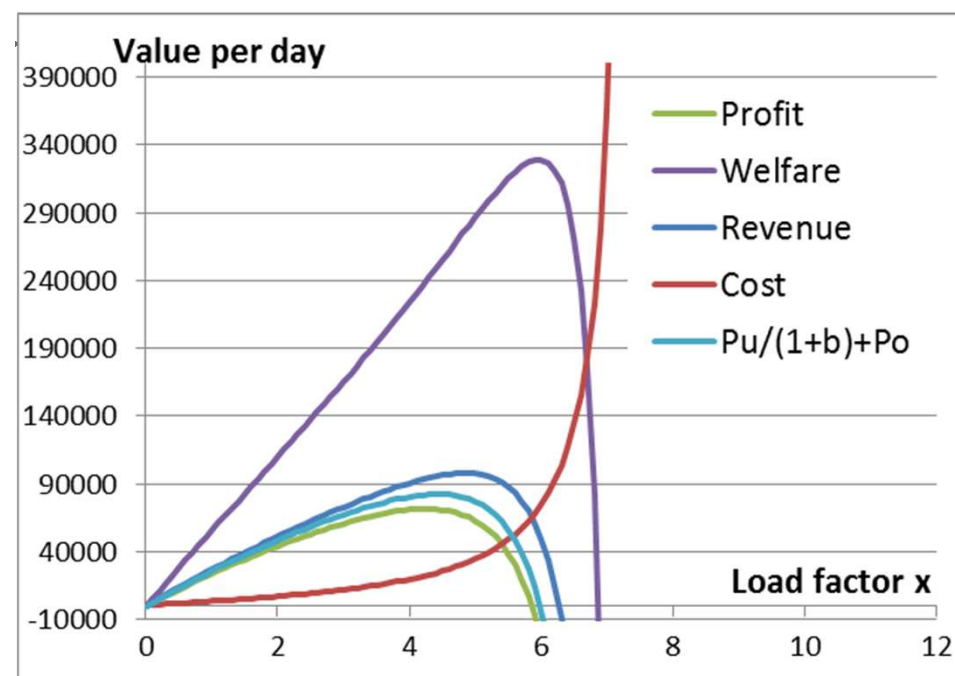


Résultats d'une simulation

Trafic, qualité de service, tarif

INDICATEURS	MO	S2	S1	SO
Facteur de charge x				
Occupation ρ				
Tarif τ				
Taille de flotte N				
Volume d'usage Q				
Temps d'accès t_A				
Temps de Roulage t_R				
Coût généralisé g				

INDICATEURS ECONOMIQUES



Impacts socioéconomiques:
coûts, revenus, surplus

Explorer un ensemble de scénarios

- Chaque Scénario croise un Régime de Régulation et une Génération Technologique
- 0/ Pre-platform, 1/ Platform, 2/ PF + Electric Vehicles, 3/ PF+EV+Autonomous Driving

TECHNOLOGY	tS=2', dC/dN=500	pre-platform		tS=40s, dC/dQ=.4	Platform		dC/dN=450 dC/dQ=.2	PF+EV		dC/dN=100	PF+EV+AD	
REGULATION	MO	SO	S2	MO	SO	S2	MO	SO	S2	MO	SO	S2
Trips per day	3 361	14 685	13 712	5 446	22 657	20 886	5 950	25 459	22 444	9 295	35 113	34 004
Access time (h)	0,097	0,028	0,030	0,086	0,029	0,031	0,077	0,025	0,028	0,027	0,009	0,009
Run time (h)	0,489	0,516	0,517	0,439	0,458	0,457	0,438	0,456	0,455	0,417	0,424	0,424
Gen trip cost	38,6	18,5	19,1	30,3	14,9	15,5	29,0	14,0	14,9	23,2	11,9	12,1
Tariff fare	23,9	4,8	5,4	17,2	2,7	3,3	16,1	2,0	2,8	12,1	1,1	1,3
Fleet size	41	146	137	41	127	118	45	147	131	126	380	369
trips/day.veh	83,0	100,4	99,9	133,7	178,7	176,8	130,9	173,8	171,0	73,9	92,5	92,2
Fare revenues	80 393	71 163	74 493	93 439	60 863	68 278	95 811	50 893	63 874	112 482	39 124	43 903
Supply Cost	22 098	79 523	74 629	23 040	72 962	67 932	22 141	71 524	64 036	14 943	45 473	44 174
Supply Profit	58 295	-8 360	-136	70 399	-12 099	346	73 670	-20 631	-162	97 539	-6 349	-272
Demand surplus	129 644	270 969	261 407	165 021	336 580	323 085	172 476	356 787	334 473	215 582	419 002	411 904
System Profit	187 939	262 609	261 272	235 420	324 481	323 430	246 145	336 156	334 311	313 121	412 653	411 633
Load indicator	4,88	5,44	5,42	3,97	4,60	4,56	3,94	4,50	4,45	3,55	3,66	3,66
Load precursor	2,9	3,7	3,67	4,2	5,9	5,8	4,1	5,7	5,6	2,2	2,80	2,79

Conclusion : une forme à valoriser

- Économie du Transport

- Flotte plus grande => cercle vertueux d'accessibilité et de fréquentation
- Économies d'échelle dans la production => Véhicules + abordables
- Besoins infrastructurels modérés en hauteur, largeur et longueur, ainsi qu'en masse

- Fonction Territoriale

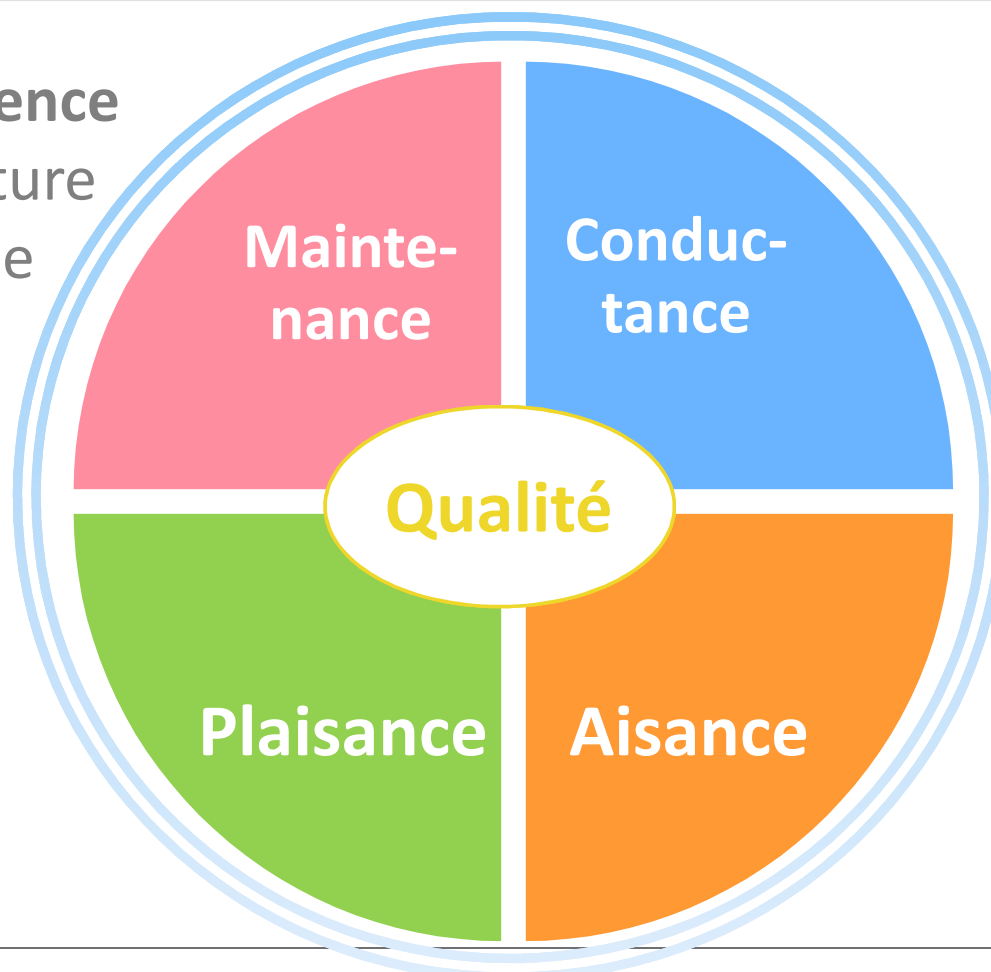
- Une fonction pour un anneau en milieu urbain : ex., distribuer les déplacements autour d'un noyau à forte densité, afin de favoriser la circulation piétonne à l'intérieur de l'anneau
- Connecter des services radiaux en une série de parcs-relais, afin de procurer l'accès au reste de l'aire urbaine

- *Indications pour le développement d'un service en anneau*

- *Construire l'image du service : sur la carte, sur la voie, sur les véhicules*
- *Applications web et mobile : mettre en exergue les "aménités urbaines" le long de l'anneau et à l'intérieur, ainsi que les connexions aux lieux et aux modes en correspondance*

Principes d'un service en forme d'anneau

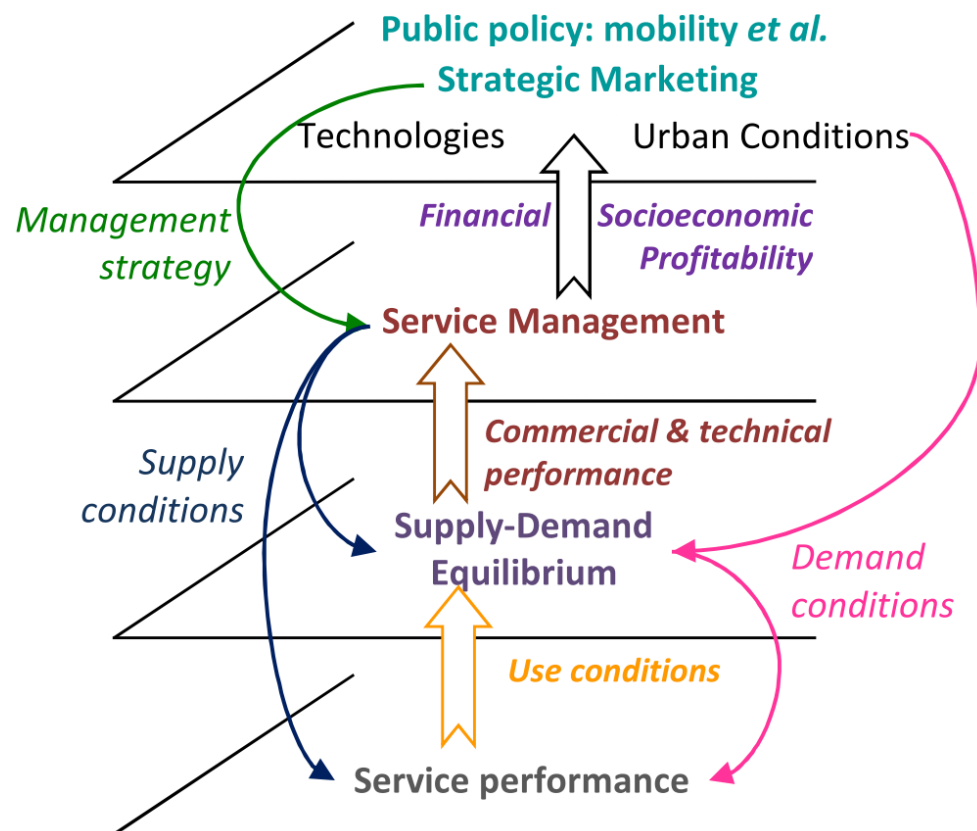
Assurer la **Congruence**
entre l'infrastructure
et le système de
service



Aux différentes
échelles d'espace :
+ le long de la voie,
+ traversée de carrefours,
coordination des flux
+ fonction urbaine à
l'échelle du quartier
+ fonction de transport
pour l'aire urbaine

Conclusion: model-based analysis

Synthesis: model architecture



Comments

- A model embodies knowledge elements: semantic composition
- Simulation capability for:
 - Systemic,
 - Technical,
 - Economic,
 - Prospective analysis
- This enables for model application to system design
 - i.e. feedback of model on real things

The ring shape for collective mobility services

- The Transportation side

- Larger fleet => virtuous circle of accessibility and customership
- Scale economies in production => More affordable vehicles
- Limited infrastructural requirements in height, width and length, weight also

- The Territory side

- Ring function in an urbanized area: to distribute trips around a high density sub-area, so as to enable for pedestrian access along and within the ring
- Connecting radial services at a series of Park & Ride facilities, to provide access to the rest of the urban area

- Hints for Ring development

- Service image: on the map, on the road, on the fleet vehicles
- Web app, mobile app, emphasizing “urban amenities” along and within the ring, as well as the connections to places and modal links